4. Medizinische Universitäts-Klinik im Städt. Robert-Koch-Krankenhaus.

Blutveränderungen nach kurzdauernder schwerer und langdauernder leichterer körperlicher Arbeit

---

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

Erich Hans

aus Berlin

Tag der Promotion: 12. II. 38

Dr. Emil Ebering, Berlin NW 7, Mittelstraße 29

M 466

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. Siebeck

Berichterstatter: Prof. Dr. Dennig
Prof. Dr. Bergmann

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Bei Untersuchungen in der Sportphysiologie spielt die Frage der Leistungsbegrenzung eine große Rolle. Leistungsbegrenzung und Ermüdung werden meist als Folge der Erschöpfung der Reserven oder der bei der Arbeit gebildeten schädlichen Stoffwechselprodukte angesehen. Ferner ist die Ansicht allgemein vertreten, daß die Arbeitsacidose eine notwendige Folge jeder körperlichen Arbeit ist, die auch nur den Stoffwechsel einigermaßen erhöht. Hill glaubt sogar aus seinen Versuchen schließen zu müssen, daß dem Grade der Säurung bei einer bestimmten Versuchsperson eine bestimmte Intensität der Arbeit entspricht. Auch L. J. Henderson vertritt diese Ansicht. Er schreibt unter anderem: „Wir können den Effekt der Muskelarbeit auf Blutbikarbonat und Laktat dahingehend zusammenfassen, daß derselbe bei kleinen Leistungserhöhungen unbedeutend bei größeren Erhöhungen von wachsender Bedeutung ist, daß aber die Umsatzgröße, bei welcher die Wirkung einsetzt, bei verschiedenen Individuen stark variiert." So vergleicht L. J. Henderson einen gut trainierten Langstreckenläufer mit einer untrainierten Versuchsperson, indem er sie beide 25 Minuten schwer arbeiten ließ. Bei der trainierten Versuchsperson fehlte jedes Anzeichen einer Säurung, während bei der untrainierten Versuchsperson die Säurewerte stark gestiegen waren. Hierüber sagt L. J. Henderson: „Im Verlaufe eines Vierteljahrhunderts habe ich nie einen größeren Gegensatz zu Gesicht bekommen, als den dargestellten."

In der vorliegenden Literatur sind nur selten quantitative Beziehungen der Acidose zur Art und Größe der geleisteten Arbeit untersucht worden. Vor allem fehlen exakte Vergleiche der Blutverhältnisse in der Erschöpfung, die nach verschieden lange geleisteter Arbeit eintritt, vollkommen. Wir haben nun bei einer Versuchsperson Kohlensäuregehalt, Milchsäure und Wasserstoffionenkonzentration des Blutes bestimmt und bei kurzdauernder schwerer und langdauernder leichterer Arbeit, die aber immer bis zur Erschöpfung durchgeführt wurde, miteinander verglichen.

Die Versuchsperson, 24 Jahre alt, trainierte auf einem elektrisch betriebenen Laufband bei schneller und langsamer Geschwindigkeit etwa einen Monat lang, bis die Laufdauer bei einer bestimmten Geschwindigkeit annähernd konstant wurde. Die Geschwindigkeit des Laufbandes bei kurzdauernder Arbeit betrug 25 Stkm. Es entspricht dies etwa der Geschwindigkeit, die bei einem 400-m-Lauf entwickelt wird. Die Versuchsperson war durchschnittlich nach 1 Minute 25 Sekunden erschöpft. Diese Geschwindigkeit konnte nur solange ausgehalten werden, weil der Luftwiderstand beim Laufen fehlte und sich die Versuchsperson an zwei Griffen festhielt. Die Geschwindigkeit bei langdauernder Arbeit betrug 12,5 Stkm. und wurde durchschnittlich 1 Stunde 30 Minuten ausgehalten. Diese Arbeitsleistung entspricht etwa einem 18-km-Lauf. Als Grenze der Leistungsfähigkeit wurde sowohl bei kurzdauernder als auch bei langdauernder Arbeit das von der Versuchsperson angegebene Erschöpfungsgefühl genommen. Um einen Einblick in die Blutverhältnisse zu bekommen, wurden kurz vor und kurz nach der Arbeit Arterienpunktionen gemacht. Die Punktion nach der Arbeit gelang spätestens nach 1 Minute, frühestens nach 15 Sekunden. Die Blutproben wurden unter Luftabschluß aus der Arteria brachialis gewonnen und mit Heparin versetzt. Die Wasserstoffionenkonzentration wurde sofort nach der Entnahme elektrometrisch mit der Glaselektrode gemessen, und zwar nach der Methode, die Havemann und Großcurth kürzlich ausführlich beschrieben haben. Der Kohlensäuregehalt wurde im manometrischen Van Slyke-Apparat bestimmt. Die Kohlensäurebindungskurve wurde durch Bestimmung von drei Punkten festgelegt. Der Gehalt an Milchsäure wurde nach Lenartz bestimmt. Vor und nach der Arbeit wurden außerdem noch Proben der Alveolarluft nach der Methode von Haldane und Priestley entnommen und auf ihre Kohlensäurespannung untersucht. Auf eine Messung des Sauerstoffverbrauches wurde verzichtet.

Es ist bekannt, daß schwere körperliche Arbeit die Kohlensäurespannung in der Alveolarluft stark verändert, während unter gewöhnlichen Bedingungen die Kohlensäurespannung

nahezu konstant gehalten wird. Über die Konstanz der Kohlensäurespannung sagen Haldane und Priestley folgendes: „Wir haben an uns zahlreiche Alveolarluftbestimmungen in der Ruhe in sitzender Stellung gemacht, bei ungefähr normalem Atmosphärendruck und bei Einatmung normaler Luft. Es war von Anfang an augenscheinlich, daß der Prozentgehalt der Kohlensäure für jeden von uns sehr konstant war, aber für einen von uns beträchtlich höher lag als für die Übrigen." Und weiter: „Für jedes Individuum scheint die normale alveolare Kohlensäurespannung eine außerordentlich scharf definierte Konstante zu sein." Über die Veränderung der alveolaren Kohlensäurespannung während der Arbeit sagen diese beiden Autoren:: „Es ist zu sehen, daß bei beiden Versuchspersonen ein kleiner aber deutlicher Anstieg der alveolaren Kohlensäure während der Arbeit stattfindet." Douglas und Haldane konnten zeigen, daß die alveolare Kohlensäurespannung gleich nach schwerer körperlicher Arbeit stark erhöht war, um dann unter den Ruhewert abzufallen und langsam wieder auf den Normalwert zurückzukehren. In sämtlichen bisher erschienenen Arbeiten wird dieses Verhalten der alveolaren Kohlensäurespannung bestätigt. Aus dem Studium dieser Arbeiten geht jedoch hervor, daß es sich bei fast allen um recht kurzdauernde körperliche Anstrengung handelt, also bei Läufern etwa um einen Vierhundertmeterlauf.

Die von uns nach kurzdauernder Arbeit gefundenen Werte der alveolaren Kohlensäurespannung sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Lauf-dauer	vor d. Arb.	15″ n. d. Arb.	1′ n. d. Arb.	2′ n. d. Arb.	3′ n. d. Arb.	5′ n. d. Arb.	8′ n. d. Arb.	10′ n. d. Arb.
1′ 25″	39,8	56,44	51,88	43,33	37,43	33,48	34,90	36,33
1′ 27″	38,05	55,24	50,25	42,35	38,76	36,61	33,74	35,17
1′ 5″	38,46	53,48	52,70	45,58	40,50	36,33	33,48	35,26

Bei unseren Versuchen mit kurzdauernder körperlicher Arbeit zeigte sich also, daß die alveolare Kohlensäurespannung gleich nach Beendigung der Arbeit stark erhöht ist, um dann

unter den Ruhewert abzufallen und darauf langsam gegen den Ruhewert wieder anzusteigen. Nach 10 Minuten ist der Ruhewert noch nicht erreicht.

Nach langdauernder erschöpfender Muskelarbeit liegen noch keine Untersuchungen in der Literatur vor. W. H. Owles untersuchte alveolare Kohlensäurespannung nach Arbeitsleistungen, wie sie im täglichen Leben vorkommen, die also nicht erschöpfend sind. Nach einem einstündigen Spaziergang fand er stets eine Erniedrigung der alveolaren Kohlensäurespannung; er sagt darüber folgendes: „Aus den Darstellungen geht hervor, daß in jedem Falle gleich nach Beendigung der Arbeit, ein Abfall der alveolaren Kohlensäurespannung auf einen Wert unter den Ruhewert gefunden wurde. Bei den Spaziergangexperimenten war die Erniedrigung 10—15 Minuten nach Beendigung der Arbeit am größten."

Bei unseren Versuchen mit langdauernder erschöpfender Arbeit fand sich ein ganz typisches Verhalten der alveolaren Kohlensäurespannung. Es zeigte sich, daß gleich nach Beendigung der langdauernden Arbeit kein Wert höher als der Ruhewert war. Der Anstieg der Kohlensäurespannung fehlte also völlig, meist war sogar die Kohlensäurespannung gleich nach Beendigung der Arbeit erniedrigt. In Tabelle 2 sind die Werte der alveolaren Kohlensäurespannung nach langdauernder Arbeit zusammengestellt.

Tabelle 2

Lauf-dauer	vor d. Arb.	15″ n. d. Arb.	1′ n. d. Arb.	2′ n. d. Arb.	3′ n. d. Arb.	5′ n. d. Arb.	8′ n. d. Arb.	10′ n. d. Arb.
51′ 15″	40,20	40,20	35,90	33,70	35,10	35,15	40,21	40,21
93′ 40″	40,14	37,33	33,90	32,40	31,69	35,20	40,25	40,25
95′	40,24	36,33	29,29	28,49	29,91	32,05	34,19	37,04

Schon aus dem verschiedenartigen Verhalten der alveolaren Kohlensäurespannung nach kurzdauernder schwerer und langdauernder leichterer Arbeit war ein interessantes Verhalten der Milchsäure im Blut zu erwarten.

Ryffel und etwas später Lichtwitz konnten zeigen, daß die Milchsäure nach körperlicher Arbeit im Blut vermehrt ist.

Später haben sich besonders Hill, Long und Lupton mit dem Verhalten der Milchsäure im Blut beschäftigt. Hill untersuchte den Milchsäurespiegel nach kurzdauernder Arbeit und im sogenannten „steady state". Nach kurzdauernder Arbeit fand Hill Milchsäurewerte von über 100 mg% (im venösen Blut). Barr, Himwich und Green fanden Milchsäurewerte von 45—100 mg% (zum Teil im arteriellen Blut). In diesen Grenzen halten sich auch die Werte anderer Autoren.

In Tabelle 3 sind die Milchsäurewerte in mg% angegeben, die wir nach kurzdauernder Arbeit erhielten.

Tabelle 3

Laufdauer	vor d. Arb.	1' n. d. Arb.	2' n. d. Arb.	10' n. d. Arb.
1'20"	12,0	-----	59,0	56,0
1'25"	12,0	65,0	-----	55,0

Bei unseren Versuchen mit kurzdauernder schwerer Arbeit ist also der Milchsäurespiegel gleich nach Beendigung der Arbeit stark erhöht und sinkt in der Erholung langsam zur Norm zurück.

Über das Verhalten des Milchsäurespiegels nach langdauernder erschöpfender Arbeit sind in der Literatur noch keine Untersuchungen beschrieben. A. V. Bock, C. Vancaulaert, D. B. Dill, A. Fölling und L. M. Hurxthal untersuchten die Unterschiede im Blut bei trainierten und untrainierten Personen nach mittelschwerer Arbeit. Sie ließen einen Marathonläufer (De Mar) und untrainierte Versuchspersonen eine Arbeit von etwa 25 Minuten Dauer verrichten und fanden, daß der Milchsäurespiegel bei De Mar auf dem Ruhewert geblieben war, während sich bei den anderen Personen eine erhebliche Erhöhung des Milchsäurespiegels zeigte. Hierüber sagen sie folgendes: „Die Resynthese der Milchsäure im Falle De Mar hält Schritt mit ihrer Bildung. Das Sauerstoffbedürfnis ist in seinem Falle so vollkommen ausgeglichen, daß der Milchsäurespiegel bei der Arbeit auf dem Ruhewert bleiben kann." Über die Erschöpfung des Marathonläufers nach dieser Arbeit

heißt es weiter: „Wahrscheinlich war De Mar von einer Arbeit dieses Charakters nicht mehr ermüdet als ein Durchschnittsmensch von einem Spaziergang von 20 Minuten." W. H. Owles fand bei seinen Blutuntersuchungen nach einem einstündigen Spaziergang, daß der Milchsäurespiegel auf seinem Ruhewert geblieben war.

Bei seinen klassischen Versuchen im sogenannten „steady state" fand Hill, daß bei einer nicht zu schweren Arbeit der Milchsäurespiegel bis zu einem bestimmten Wert ansteigt und dort solange bleibt, als die Arbeit fortgesetzt wird. Wird die Arbeit erhöht, so steigt der Milchsäurespiegel entsprechend an; wird die Arbeit erniedrigt, so sinkt auch der Milchsäurespiegel entsprechend der Erniedrigung der Arbeit ab. Hieraus folgert Hill, daß zu einer bestimmten Schwere der Arbeit auch ein bestimmter Milchsäurespiegel gehört. Ole Bang untersuchte bei Fahrradversuchen mit mittelschwerer Arbeit den Milchsäurespiegel auch während der Arbeit. Er fand, daß der Milchsäurespiegel im Blut ansteigt, um dann noch während der Arbeit wieder bis auf Ruhewerte abzufallen.

Bei allen diesen bisher beschriebenen Untersuchungen handelt es sich also um eine mäßige Muskelarbeit, die nicht bis zur Erschöpfung durchgeführt wurde. Außerdem wurden die Blutproben fast stets durch Venenpunktion gewonnen. In Tabelle 4 sind die Milchsäurewerte in mg% zusammengestellt, die wir nach langdauernder erschöpfender Arbeit erhielten.

Tabelle 4

Laufdauer	vor d. Arb.	25" n.d.Arb.	1' n.d.Arb.	2' n.d.Arb.	12' n.d.Arb.
93' 40"	12,0	————	16,0	15,0	11,0
95'	12,0	14,0	13,0	13,0	11,0

Nach langdauernder erschöpfender Arbeit entfernt sich der Milchsäurespiegel also nicht von seinem Ruhewert. Der Wert von 14 mg%, der 25 Sekunden nach der Arbeit gefunden wurde, liegt noch innerhalb der Fehlergrenze. Diese Resultate stehen in krassem Gegensatz zu den bisher in der Literatur beschriebe-

nen. Wird doch die Erhöhung des Milchsäurespiegels als notwendige Folge jeder Muskelarbeit angesehen, die auch nur den Stoffwechsel einigermaßen erhöht. Danach müßte bei einer bis zur Erschöpfung durchgeführten Arbeit der Milchsäurespiegel besonders erhöht sein. Diese, den bisherigen Angaben in der Literatur widersprechenden Resultate erklären sich daraus, daß noch nie Versuche mit so langdauernder Arbeit bis zur Erschöpfung angestellt wurden wie bei uns, z. B. mit einer Laufdauer von 1 Stunde 35 Minuten. Die in der Literatur angeführten Resultate sind aus Arbeitsleistungen gewonnen, die eine Dauer von 30 Minuten nicht übersteigen.

Das gegensätzliche Verhalten der Milchsäure nach kurzdauernder schwerer und langdauernder leichterer Arbeit muß sich auch in dem Verhalten der Kohlensäurebindungskurve geltend machen. Wird doch ein großer Teil der Alkalireserve durch die Milchsäuremengen, die nach kurzdauernder schwerer Arbeit entstehen, verbraucht, während dies bei langdauernder Arbeit nicht der Fall sein kann, weil, wie sich aus der vorangehenden Darstellung ergibt, keine Erhöhung des Milchsäurespiegels stattfindet.

Die Kohlensäurebindefähigkeit des Blutes nach körperlicher Arbeit wird in der Literatur von vielen Autoren beschrieben. Aber auch hier wurde immer die kurzdauernde kräftige Muskelarbeit gewählt, weil man dabei die eindrucksvollsten Veränderungen erwarten durfte. Barr fand, daß nach kräftiger Muskelarbeit die Kohlensäurebindungskurve des Blutes erniedrigt war, und daß die Kurve flacher verlief. Ferner konnte er feststellen, daß die Senkung der Kohlensäurebindungskurve ungefähr der Erhöhung des Milchsäurespiegels im Blut parallel ging. Schenk schreibt über die Veränderung der Kohlensäurebindungskurve nach körperlicher Arbeit: „Im allgemeinen sinkt die Alkalireserve des Blutes durch körperliche Arbeit um so schneller und stärker, je größer die Leistung in der Zeiteinheit ist."

Nach kurzdauernder schwerer Arbeit konnten wir eine Senkung der Kohlensäurebindungskurve und einen flacheren Verlauf derselben feststellen. Die Senkung betrug durchschnittlich 9 Vol%.

Kohlensäurebindungskurve 1

nach kurzdauernder Arbeit (1′ 25″)

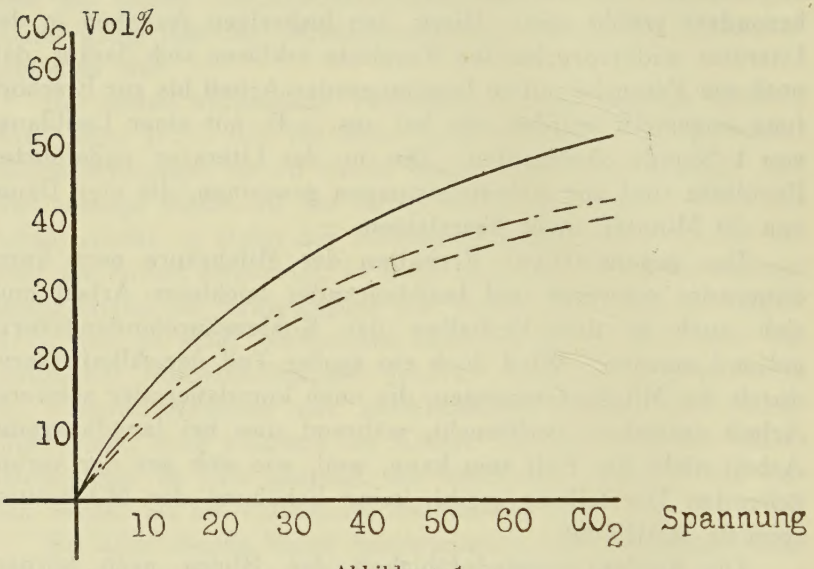

Abbildung 1

——— Verlauf der Kurve vor der Arbeit
– – – – Verlauf der Kurve 2′ 20″ nach der Arbeit
–·–·– Verlauf der Kurve 10′ 30″ nach der Arbeit

Veränderungen der Kohlensäurebindungskurve nach einer längerdauernden aber sehr leichten Arbeitsleistung, einem einstündigen Spaziergang, wurden von W. H. Owles beschrieben. Er sagt darüber: „Wir wollten die Verminderung der Kohlensäurebindefähigkeit des Blutes, welche erwartungsgemäß die Veränderungen im Milchsäuregehalt begleiten mußte, an Hand eines Spazierganges von einer Stunde mit einer Geschwindigkeit von 3 Meilen pro Stunde verfolgen. Bei zwei Experimenten wurde kein Erfolg erzielt, hier schien die Kohlensäurebindefähigkeit eher die Tendenz zum steigen als zum fallen zu haben."

Bei unseren Versuchen mit langdauernder erschöpfender Arbeit zeigte es sich, daß die Kohlensäurebindungskurve nicht erniedrigt sondern erhöht war. Die graphischen Darstellungen 2 und 3 geben davon ein anschauliches Bild.

Kohlensäurebindungskurve 2

nach langdauernder Arbeit (93′ 40″)

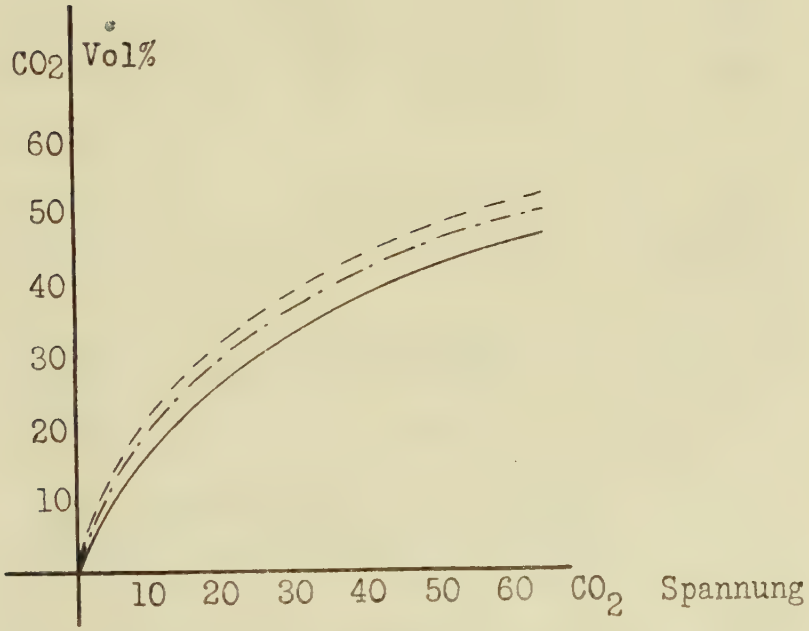

Abbildung 2

——— Verlauf der Kurve vor der Arbeit
– – – – Verlauf der Kurve 1′ nach der Arbeit
–.–.– Verlauf der Kurve 2′ nach der Arbeit

Der Verlauf der Kurve 12′ nach der Arbeit fällt mit der Kurve vor der Arbeit zusammen.

Kohlensäurebindungskurve 3

nach langdauernder Arbeit (95′)

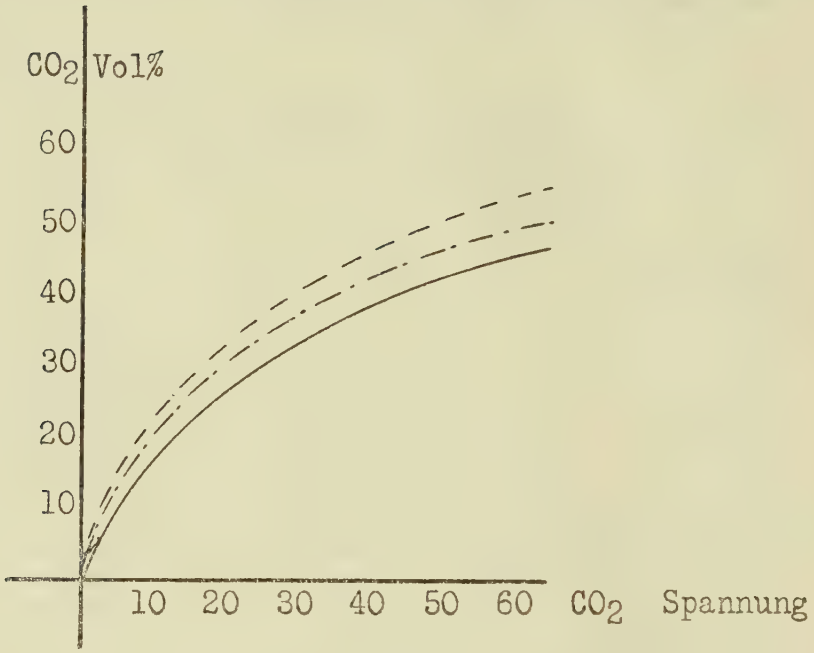

Abbildung 3

——— Verlauf der Kurve vor der Arbeit
– – – – Verlauf der Kurve 25″ nach der Arbeit
—·—·— Verlauf der Kurve 3′ nach der Arbeit

Entsprechend dem verschiedenartigen Verhalten der Milchsäure und der Kohlensäurebindungskurve nach kurzdauernder schwerer und langdauernder leichterer Arbeit verhält sich auch die Wasserstoffionenkonzentration im Blut verschieden. In der Literatur liegen sehr viele Untersuchungen über Änderungen der Wasserstoffionenkonzentration nach kräftiger Muskelarbeit vor; aber auch hier handelt es sich stets um eine kurzdauernde Arbeit. Barr und Himwich fanden Verschiebungen der Wasserstoffionenkonzentration nach der sauren Seite um 0,1

bis 0,25; der tiefste Wert nach schwerer Muskelarbeit betrug 7,02. Versuche von Christiansen, Douglas und Haldane hatten ähnliche Ergebnisse.

Bei unseren Versuchen mit kurzdauernder schwerer Arbeit konnten wir Verschiebungen der Wasserstoffionenkonzentration nach der sauren Seite um 0,11—0,13 feststellen. In Tabelle 5 sind unsere gefundenen Werte angegeben.

Tabelle 5

Lauf-dauer	vor d. Arb.	25″ n. d. Arb.	50″ n. d. Arb.	1′15″ n. d. Arb.	2′20″ n. d. Arb.	3 n. d. Arb.	10 n. d. Arb.
1′ 20″	7,30	————	7,19	————	7,19	————	7,21
1′ 25″	7,33	7,20	7,20	7,21	————	7,21	————

Nach langdauernder Arbeit z. B. einem 10- oder 15-km-Lauf sind am Menschen noch keine direkten Messungen der Wasserstoffionenkonzentration im arteriellen Blut ausgeführt worden. A. V. Bock, C. Vancaulert, D. B. Dill, A. Fölling und L. M. Hurxthal haben bei einer Zusammenstellung von p_H-Werten verschiedener Versuchspersonen nach mittelschwerer Arbeit gefunden, daß sich die p_H-Werte von trainierten Personen wesentlich weniger nach der sauren Seite verschieben als von untrainierten Personen. So entfernt sich z. B. der p_H-Wert von dem Langstreckenläufer De Mar überhaupt nicht von seinem Ruhewert. In einer anderen Arbeit von J. H. Talbott, A. Fölling, L. J. Henderson, D. B. Dill, H. T. Edwards und E. L. Berggreen wurde bei einer untrainierten Versuchsperson nach einer recht langdauernden Arbeit, einem Spaziergang von einer Dauer von 6,3/5 Stunden festgestellt, daß sich der p_H-Wert nicht nach der sauren, sondern nach der alkalischen Seite verschoben hatte. Die p_H-Werte der angeführten Arbeiten sind aus venösem Blut errechnet. Bei ihrer Durchsicht fällt auf, daß die Ruhewerte sehr alkalisch sind. Es liegt kein Wert unter 7,45. An Hunden haben Glaß und Großcurth Untersuchungen der Wasserstoffionenkonzentration nach einem dreistündigem Lauf ausgeführt und konnten feststellen, daß die Wasserstoffionenkonzentration unverändert geblieben

war, oder sich nur ganz geringfügig (0,01) nach der sauren Seite verschoben hatte.

Bei unseren Versuchen mit langdauernder Arbeit konnten wir feststellen, daß die Wasserstoffionenkonzentration nicht nur auf dem Ruhewert geblieben war, sondern sich beträchtlich nach der alkalischen Seite verschoben hatte. Tabelle 6 zeigt die Werte nach langdauernder Arbeit.

Tabelle 6

Laufdauer	vor d. Arb.	25″ n.d.Arb.	1′ n.d.Arb.	2′ n.d.Arb.	12′ n.d.Arb.
93′ 40″	7,30	————	7,36	7,38	7,37
95′	7,34	7,44	7,44	————	7,43

Es ist also nach langdauernder Arbeit keine Acidose sondern eine Alcalose aufgetreten.

Von diesen Ergebnissen aus ist eine Betrachtung der Theorien der Atmungsregulierung besonders interessant. Haldane und Priestley glaubten, daß der adaequate Reiz für das Atemzentrum die Kohlensäurespannung des arteriellen Blutes sei. Sie sagen: „Die Experimente, die wir oben beschrieben haben, zeigen klar, daß unter normalen Bedingungen die Regulation der Lungenventilation von der Kohlensäurespannung der Alveolarluft abhängt. Selbst ein sehr kleiner Anstieg oder Abfall der alveolaren Kohlensäurespannung verursacht eine starke Steigerung oder Verminderung der Lungenventilation". Wintersteín zeigte an zahlreichen Experimenten, daß nicht die Kohlensäurespannung, sondern die Wasserstoffionenkonzentration des arteriellen Blutes den maßgebenden Reiz für das Atemzentrum bildet. Später änderte er seine Theorie dahin ab, daß er nicht die Wasserstoffionenkonzentration des arteriellen Blutes, sondern die Wasserstoffionenkonzentration in den Nervenzellen (Rezeptionszellen) selbst als Reiz für das Atemzentrum ansprach. Die Wintersteinsche Theorie ist nun viel angegriffen worden; besonders auch von Autoren, die sich mit der Physiologie der Muskelarbeit befaßt haben. Barr vermißte bei seinen Arbeitsversuchen eine deutliche Beziehung zwischen der Wasserstoffionenkonzentration und der Ventilationsgröße.

Er vertritt die Ansicht, daß sich die Ventilationsgröße mit der Kohlensäurespannung ändert, oder daß doch zumindest bei Muskelarbeit eine Veränderung der Empfindlichkeit des Atemzentrums eintreten muß. Hooker, Wilson und Connet vertreten die Auffassung, daß der Kohlensäure eine wesentliche Rolle bei der Atmungsregulierung eingeräumt werden müsse. Sie durchspülten die isolierte Medulla von Säugetieren mit Blut gleicher Wasserstoffionenkonzentration, aber verschiedenen Kohlensäuregehaltes. Hierbei zeigte es sich, daß das Kohlensäure reichere Blut eine deutliche Mehrventilation herbeiführte. Winterstein erklärt diesen Befund mit Versuchen von Jakobs. Dieser zeigte, daß das undissoziierte Kohlensäuremolekül infolge seiner großen Lipoidlöslichkeit viel schneller in eine Zelle eindringen kann als irgend ein Ion. Die in der Zelle eingedrungene Kohlensäure dissoziiert dort und schafft so in der Zelle selbst eine saurere Reaktion als in der umgebenden Flüssigkeit. Da nun nach der modifizierten Wintersteinschen Theorie die Reaktion in der Nervenzelle selbst maßgebend ist, sind damit die Versuche von Hooker, Wilson und Connet und auch von Barr zu erklären, ohne mit der Wintersteinschen Atmungstheorie brechen zu müssen.

Marius Nielsen vertritt die Ansicht, daß die Ventilationsgröße nur von der Kohlensäurespannung des arteriellen Blutes und der Erregbarkeit des Atemzentrums abhängt, während es nach Winterstein keine Änderung der Erregbarkeit des Atemzentrums gibt. Nielsen sagt: „Eine nähere Analyse der Faktoren die eine Erregbarkeitsänderung hervorrufen, wurde niemals vorgenommen. Vielleicht wird es der zukünftigen Forschung gelingen, eine solche vorzunehmen."

Interessant sind im Hinblick auf diese verschiedenen Meinungen unsere Versuche über langdauernde Arbeit. Wir fanden hier die alveolare Kohlensäurespannung herabgesetzt, den Milchsäurespiegel auf Ruhewerten, die Alkalireserve vermehrt und die Wasserstoffionenkonzentration nach der alkalischen Seite verschoben. Nach der Wintersteinschen Theorie müßte eine Apnoe bestanden haben, demgegenüber bestand eine beträchtliche Mehrventilation. Auch eine Erhöhung der Kohlensäurespannung kann nicht für die Ventilationssteigerung ver-

antwortlich gemacht werden, weil eben die Kohlensäurespannung nicht erhöht war.

Die Ermüdungserscheinungen nach kurz und langdauernder Arbeit waren ebenfalls sehr verschieden. Die Erschöpfung bei kurzdauernder Arbeit bestand in einer maximalen Dyspnoe und einem schwer zu beschreibenden Angstgefühl, das in eine Übelkeit überging. Die Symptome ähneln also einer kardialen Insuffizienz.

Bei langdauernder Arbeit macht die verstärkte Atmungs- und Herztätigkeit wenig Beschwerden. Hier liegt die Erschöpfung eher in den Muskeln selbst. Sie scheinen sich schwerer zu kontrahieren; zu jeder Bewegung gehört ein immer größerer Kraftaufwand, die Muskulatur schmerzt. Nach Beendigung der langdauernden Arbeit geht der Muskelschmerz sofort in das bekannte Gefühl des Muskelkaters über, während nach kurzdauernder Arbeit eine längere schmerzfreie Periode dazwischen liegt.

Zusammenfassung.

Es wurden die Unterschiede im Blut bei kurzdauernder und langdauernder Arbeit festgestellt.

Nach kurzdauernder Arbeit fand sich eine Erhöhung der alveolaren Kohlensäurespannung, der Milchsäurespiegel war stark erhöht, die Alkalireserve war vermindert und die Wasserstoffionenkonzentration war nach der sauren Seite verschoben. Die Erschöpfung ähnelte einer kardialen Insuffizienz.

Nach langdauernder Arbeit fand sich eine Erniedrigung der alveolaren Kohlensäurespannung, der Milchsäurespiegel blieb gegen den Ruhewert unverändert, die Alkalireserve war vermehrt und die Wasserstoffionenkonzentration war nach der alkalischen Seite hin verschoben.

Zuletzt wurde bei der Betrachtung der Atmungsregulation bei körperlicher Arbeit gezeigt, daß die Ergebnisse bei langdauernder Arbeit mit der Wintersteinschen Atmungstheorie nicht in Einklang zu bringen sind.

An dieser Stelle möchte ich besonders

Herrn Dr. Groscurth,
Herrn Dr. Havemann,
Fräulein Dr. Krause und
Fräulein Kunze

für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Experimente danken.

Literatur.

Barr: Journ. of biol. chem. 56, p. 171 (1923).
Barr, Himwich und *Green:* Journ. of biol. chem. 56, p. 502 (1923).
Bang Ole: Skand. Arch. für Physiol. 74 p. 49—82, 1936.
Bock A. V., Vancaulaert C., Dill D. B., Fölling A. and *Hurxthal:* Journ. of Physiol. 66 p. 136 (1928).
Christiansen, Douglas, Haldane: Journ. of Physiol. 48 p. 244 (1914).
Glaß und *Groscurth:* Zeitschr. für exp. Med. 85, 736 (1923).
Douglas, Haldane: Journ. of Physiol. 38, 420 (1909).
Haldane, Douglas: Ergebn. der Physiol. 14 p. 338 (1914).
Haldane, Priestley: Journ. of Physiol. 32 p. 225 (1905).
Hill: Muscular Activity. Baltimore 1926.
— Ergebn. der Physiol. 8/455 S. 43 (1925).
Hill, Flack: Journ. of Physiol. 36 (1907/8).
Hill, Long and *Lupton:* Proc. Roy. Soc. B, 97, pp. 84, 96, 127 (1924).
Hooker, Wilson and *Connet:* Amer. Journ. of Physiol. 43, 351 (1917).
Lichtwitz: Berl. klin. Wochenschr. 51, p. 1018 (1914).
Jakobs: Amer. Journ. of Physiol. 51, 321 (1920).
53, 457 (1920).
Ryffel: Journ. of Physiol. 39, Proceedings p. XXIX (1909—10).
Nielsen Marius: Skand. Arch. für Physiol. 74, p. 299—316 (1936).
Winterstein: Pflügers Archiv 138, 159 (1911).
187, 293 (1921).
222, 411 (1929).
234, 187 (1934).
Schenk: Ermüdung gesunder und kranker Menschen.
Talbott J. H., Fölling A., Henderson L. J., Dill D. B., Edwards H. T. and *Berggreen E. L.:* Journ. of Biol. Chem. 78, 445 (1928).

Lebenslauf.

Ich, Erich Hans, bin am 23. Februar 1912 zu Berlin geboren. Im Jahre 1918 wurde ich mit meinem 6. Lebensjahr in das Andreas Real-Gymnasium zu Berlin eingeschult und mit der Versetzung nach Unterprima in die 5. Oberrealschule zu Berlin umgeschult. Ostern 1931 bestand ich daselbst das Abitur und wurde an der Universität Berlin immatrikuliert. Im Herbst 1933 bestand ich ebenda das Physikum und am 19. Februar 1937 das medizinische Staatsexamen.